水库信息化设备在线安全监测系统的发展趋势研究

宋小燕 陆华 路义明 夏春菊
贵阳筑水水利产业发展有限公司 贵州 贵阳 550081

摘 要 传统监测手段难以全面保障水库运行安全，水库信息化设备在线安全监测系统融合了大数据、人工智能等新一代信息技术，有助于解决传统监测模式的局限，提升监测效能，保障水库运行安全。为此，本文分析水库信息化安全监测系统的发展现状与趋势，并提出应用建议，旨在推动水库监测的数字化、智能化转型。

关键词 水库信息化设备；在线安全监测系统；发展趋势

Trends in the Development of On-Line Safety-Monitoring Systems for Reservoir Informatization Equipment

Song Xiao-yan, Lu Hua, Lu Yi-ming, Xia Chun-ju
Guiyang Zhushui Water Conservancy Industry Development Co., Ltd., Guiyang 550081, Guizhou Province, China

Abstract Traditional monitoring methods face inherent limitations in ensuring comprehensive reservoir operational safety. The integration of online safety monitoring systems for reservoir informatization equipment, incorporating advanced information technologies such as big data and artificial intelligence, offers a promising solution to overcome the constraints of traditional monitoring paradigms. These systems enhance monitoring efficiency and strengthen reservoir operational safety. Accordingly, this paper analyzes the current development status and emerging trends of informatized reservoir safety monitoring systems, and proposes practical application recommendations aimed at advancing the digital and intelligent transformation of reservoir monitoring practices.

Key words Reservoir Informatization Equipment; On-Line Safety Monitoring System; Development Trends

水库安全事关人民群众生命财产安全和经济社会发展大局。随着我国水利工程进入“重建强管”新阶段，传统水库安全监测手段已难以满足现代水利工程管理的需求。这些传统方法主要依赖人工巡查与简单仪器测量，存在数据时效性差、准确性低、无法远程监控等问题，难以解译水库大坝复杂的变化特征。近年来，物联网、云计算、大数据、人工智能等信息化技术的迅猛发展，为构建智能化、自动化的水库安全监测系统提供了技术支撑。本文通过分析当前水库信息化监测设备的发展现状，深入研究其未来发展趋势，旨在为提升水库安全管理水平提供理论参考和技术指引[1]。

1 水库信息化安全监测系统发展现状

信息化监测系统在水库安全管理中的应用已经从试点示范走向规模化推广，其技术架构与应用模式日趋成熟。当前系统主要基于分层架构设计，由感知层、网络层、平台层和应用层组成，形成闭环控制的有机整体。

1.1 技术架构与应用成效

在感知层方面，智能传感器的普及大幅提升了数据采集的精度与效率。水位监测采用压力式水位计、超声波水位计等，精度可达 ± 0.5 cm；雨量监测采用翻斗式雨量计，分辨率达 0.2 mm；大坝安全监测包括测斜仪、渗压计、应变计等设备，可实时监测大坝变形、渗流、应力等参数。网络层采用多模式融合通信方案，在通信信号覆盖良好的区域采用5G/4G网络传输数据，偏远山区或通信信号弱区域则利用北斗卫星通信技术进行数据传输，确保数据传输的实时性与可靠性。

研究表明，信息化监测系统可实现全天候实时监测，突破了传统人工监测的局限性。通过对某大型水库安全监测系统的实践应用，包括全球卫星导航系统（GNSS）接收机变形监测、无线传感网络渗压监测、自动化渗流量监测等信息化设备，显著提升了水库安全监测的精准性和时效性，如表1所示。

表1 水库信息化监测主要技术对比

监测类型	核心技术	精度指标	优势	局限性
位移监测	GNSS/BDS	毫米级	全天候 自动化	成本较高
渗流渗压	无线传感网络	± 0.1% FS	布设灵活 实时性好	需要定期校准
库容监测	遥感+高精度 传感器		全覆盖 高效	受天气影响
视频监控	AI图像识别		直观可分析	数据传输量大

1.2 存在不足与挑战

尽管水库信息化监测系统取得了显著成效，但仍面临一系列挑战。首先，系统智能化水平有待提升，多数系统仍以数据采集和展示为主，在智能预警与自主决策方面能力不足。其次，多源数据融合能力不足，不同传感器、不同时段的数据难以有效整合分析，制约了数据的深度价值挖掘。最后，系统建设与维护成本较高，尤其对于经济欠发达地区的小型水库，难以承担高昂的信息化建设费用[2]。

2 水库信息化安全监测系统发展趋势

面对新时代水利高质量发展的要求，水库信息化安全监测系统正朝着一体化、智能化和标准化方向快速发展，呈现出以下明显趋势。

2.1 从“点状监测”向“天空地一体化监测”发展

未来水库安全监测将突破传统单一地面监测模式，构建天空地一体化的立体监测网络。该体系通过集成卫星遥感（天）、无人机监测（空）、地面传感器（地）、水下探测（水）和工程结构传感器（工）技术，形成多尺度、全覆盖的监测网络。

这一趋势在国家层面已得到积极响应。水利部印发的《河湖库一体化监测感知体系建设三年行动方案（2025—2027年）》（以下简称“《方案》”）明确提出，到2027年基本构建以卫星遥感为主、视频监控和无人机为补充，贯通监测、研判、预警、处置全链条的监测感知网。这种一体化监测体系可对河湖库实行全覆盖、多地物、高频次、高精度、长时序动态监测，大幅提升监测效能。

2.2 从“数据采集”向“智能分析”深化

随着人工智能技术的发展，水库安全监测系统的核心功能正从单纯的数据采集向智能分析与自主决策深化。这一转变主要体现在3个方面。

首先，大数据分析和人工智能技术将在水库安全监测中发挥越来越重要的作用。基于机器学习算法，结合全天候、长时间序列监测数据建立预测模型，可实现对大坝变形的准确预测。研究表明，改进的神经网络模型比传统模型具有更优的拟合效果和预测精度。

其次，数字孪生技术将成为水库信息化监测的核心支撑。通过BIM和GIS技术建立高精度三维仿真模型，构建多物理场耦合数值模型库，可实现物理水库与虚拟模型的实时交互与深度融合，为模拟预演与决策支持提供平台。

最后，知识图谱技术开始应用于水电站异常事件智能应急处置系统，实现异常事件的智能匹配和可视化应急处置流程建议，显著提升应急响应能力。

2.3 从“单一功能”向“多技术融合”演进

水库信息化监测设备正从单一功能向多技术融合方向发展，不同技术的交叉融合催生出更加强大的监测能力。

卫星遥感、视频监控、无人机和北斗定位等现代技术的集成应用，构成了完整的监测技术体系。该体系能够实现“发现、研判、预警信息推送、处置反馈”全流程在线管理，特别是针对河湖库“四乱”（乱占、乱采、乱堆、乱建）、妨碍河道行洪、侵占水库库容等问题，提供了有效的技术解决方案。

同时，边缘计算与云计算的协同应用正成为新的技术趋势。边缘计算负责前端数据的实时处理和初步分析，云计算承担大数据深度挖掘和模型训练，二者协同既减轻了数据传输压力，又提升了系统响应速度。

2.4 从“分散建设”向“一体化集约管理”转变

在建设模式上，水库信息化监测系统正从过去的“分散建设”“烟囱林立”向“一体化集约管理”转变。这一转变在《方案》中得到充分体现，《方案》明确要求坚持“统筹规划、突出重点、量力而行、集约建设、共建共享”原则。

通过构建贯通前端感知、平台归集、信息应用全过程的河湖库一体化监测感知体系，能够避免重复建设，提高资源利用效率。同时，微服务架构的广泛应用使系统具备了更好的模块化与可扩展性，用户可根据需求灵活配置功能模块，适应水利工程安全监管的复杂需求变化[3]。

3 河湖库一体化监测感知体系建设案例

为更具体展示水库信息化监测系统的发展趋势，以国家层面推动的河湖库一体化监测感知体系建设为例，分析其框架设计与实施路径。

3.1 建设原则与目标

该体系遵循“需求牵引、应用至上、数字赋能、提升能力”的方针，通过开展全国河湖基本情况摸底调查、完善河湖管理数据底板、研发应用河湖智能模型等重点任务，构建贯通前端、中端、后端全过程的河湖库一体化监测感知体系。

《方案》提出，到2027年基本建成衔接水利部、契合各地实际的河湖库一体化监测感知体系，充分应用卫星遥感、人工智能、北斗定位等现代技术，构建以卫星遥感为主、视频监控和无人机为补充的监测感知网，为“管好每一条河流”提供重要基础支撑。

3.2 技术框架与实施路径

在技术框架上，该体系通过“卫星遥感常态化智能监测”“视频监控实时捕捉”“无人机定期巡检”“河道采砂智能监管”等多重技术手段，构建了多维立体的监测网络。

在实施路径上，采取“摸底调查—数据建设—模型研发—常态化监测”的递进策略，确保体系建设有序推进。通过实施河湖库地物遥感图斑核查“回头看”，巩固已有监测成果，提升监测精度。

4 水库信息化设备在线安全监测系统的应用建议

4.1 制订应用规划

水库信息化设备在线安全监测系统集成传感器与通信网络等技术，通过感知层实现对水库大坝的实时动态监测，保障水利设施安全稳定运行。在实际应用中，相关单位应制订科学规划，确保系统有效落地。首先，需转变传统观念，重视系统应用，结合实际并借鉴优秀案例，明确应用流程与岗位职责，形成标准化应用体系；同时加强宣传，提升人员认知，推动系统部署与监测能力提升。其次，组建以管理层为核心的监督队伍，负责检查系统应用情况，及时发现问题并进行指导干预。最后，建立评价指标体系，对系统数据处理能力、可靠性（如设备故障率、数据传输稳定性及抗干扰能力等）进行评估，针对不足之处分析成因并实施优化改进[4]。

4.2 强化信息安全

在水库信息化设备在线安全监测系统的实际应用中，信息安全面临敏感数据泄露、系统瘫痪及设备故障等挑战。强化信息安全建设可降低数据泄露风险，保障系统稳定可靠运行。具体措施包括：一是加强数据加密，针对系统采集的海量敏感信息，引入加密技术以提高数据保密性与可用性，降低泄露与丢失风险；二是强化关键设备防护，如对传感器采取低温抗干扰与防雨防潮设计，确保其在恶劣天气下正常运行；三是推进信息安全技术应用；四是建立专业运维机制，组建专职运维队伍，定期检查系统平台与硬件设备，及时修复漏洞与故障，保障系统持续有效运行。

4.3 注重数据质量

水库信息化设备在线安全监测系统是通过数据采集、分析实现对水库水坝、水利设施的实时监测，这也对数据质量提出了较高要求。一方面，相关单位要注重数据清洗工作，例如技术人员采用统计方法，识别、剔除偏离正常范围的异常数据，避免对后续分析造成影响；相关单位要推进数据标准化建设，确保不同监测指标在分析时具有可比性；对于数据缺失值，技术人员可以采用均值填充进行处理，避免不完整的数据对分析产生影响。另一方面，相关单位也要加强数据采集与传输过程管理，例如选用精度较高的传感器，提升数据采集精度；加强5G网络建设，确保数据传输不受外界干扰[5]。

5 结束语

水库信息化设备在线安全监测系统正朝着一体化、智能化和标准化方向快速发展，通过多种技术融合，实现对水库运行状态的实时感知、智能分析与精准预警。未来，系统发展将呈现以下趋势：一是构建天空地一体化监测体系，融合卫星遥感、无人机、地面传感器、水下探测及工程结构传感技术，形成立体全覆盖监测网络；二是深化AI技术应用，借助机器学习、深度学习算法，提升大坝变形预测与险情识别的准确性与时效性；三是推动数字孪生深度融合，强化物理水库与虚拟模型的实时交互与耦合，实现精准模拟预演与决策支持；四是推进标准体系构建，统一系统接口与数据格式，推动功能模块模块化，提升系统开放性与可扩展性。通过持续技术创新与系统优化，该系统将在保障水利工程安全、优化水资源配置等方面发挥更重要的作用，引领水利工程管理向智能化、精准化方向迈进。

参考文献

[1]李明.水库安全中水库大坝安全监测自动化技术分析[J].水上安全,2024(22):28-30.

[2]潘峻峰.智能化技术在水库大坝安全监测自动化中的应用[J].智能建筑与智慧城市,2024(5):177-179.

[3]陈施军.水库安全中水库大坝安全监测自动化技术[J].水上安全,2024(7):67-69.

[4]王曼丽.水库安全运行自动化监测管理系统设计研究[J].水上安全,2024(6):70-72.

[5]刘涛,赵明,周晓静.面向智慧水利的物联网监测系统设计与应用研究[J].水利信息化,2025(2):45-49.

（本文编辑 曹 阳）

